

(43)Date of publication of application : 04.08.2000

G11B 5/39

(72)Inventor : HASEGAWA NAOYA

rejection]

[Kind of final disposal of application other than  
the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3212569

[Date of registration] 19.07.2001

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-215421

(P2000-215421A)

(43)公開日 平成12年8月4日(2000.8.4)

(51)Int.Cl.

G 1 1 B 5/39

識別記号

F I

G 1 1 B 5/39

テマコード(参考)

5 D 0 3 4

審査請求 有 請求項の数13 O L (全 21 頁)

(21)出願番号

特願平11-19119

(22)出願日

平成11年1月27日(1999.1.27)

(71)出願人 000010098

アルプス電気株式会社

東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72)発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ

ス電気株式会社内

(74)代理人 100064908

弁理士 志賀 正武 (外8名)

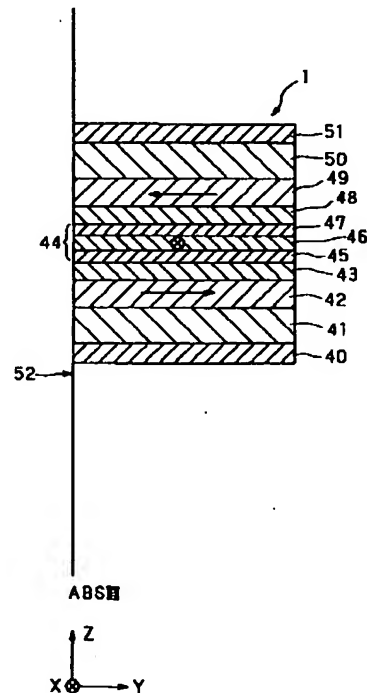
Fターム(参考) 5D034 BA05 CA08 DA07

(54)【発明の名称】 スピンバルブ型薄膜磁気素子及び薄膜磁気ヘッド及びスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法

(57)【要約】

【課題】 アシンメトリー (Asymmetry) を小さくすることが可能なスピンバルブ型薄膜磁気素子及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 フリー磁性層44と、フリー磁性層44の厚さ方向両側に各々非磁性導電層43、48と固定磁性層49、42と反強磁性層50、41とが積層される積層体を基板30上に備え、基板30から離れた側の第1固定磁性層49の磁化方向が、第1反強磁性層50により一方に固定され、基板30に近い側の第2固定磁性層42の磁化方向が、第2反強磁性層41により第1固定磁性層49の磁化方向の反平行方向に固定され、第1、第2反強磁性層50、41は、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなることを特徴とするスピンバルブ型薄膜磁気素子1を採用する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 フリー磁性層と、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に各々非磁性導電層と固定磁性層と反強磁性層とが積層されてなる積層体を基板上に備え、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に対して交叉する方向に揃えるバイアス層と、前記フリー磁性層に検出電流を与える導電層とを備え、前記一対の固定磁性層のうち、前記基板から離れた側の第1固定磁性層の磁化方向が、隣接する第1反強磁性層により一方向に固定され、

前記基板に近い側の第2固定磁性層の磁化方向が、隣接する第2反強磁性層により前記第1固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定され、

前記第1、第2反強磁性層は、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなることを特徴とするスピナバルブ型薄膜磁気素子。

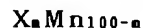
【請求項2】 前記フリー磁性層は、非磁性中間層と、前記非磁性中間層を挟む第1フリー磁性層及び第2フリー磁性層とからなり、前記第1フリー磁性層と前記第2フリー磁性層が互いに反強磁性的に結合されて、前記第1フリー磁性層の磁化方向と前記第2フリー磁性層の磁化方向が互いに反平行とされていることを特徴とする請求項1記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。

【請求項3】 前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



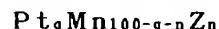
但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ である。

【請求項4】 前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $48\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ である。

【請求項5】 前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



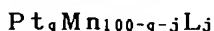
但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。

【請求項6】 前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



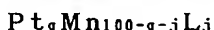
但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $48\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。

【請求項7】 前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。

【請求項8】 前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることを特徴とする請求項1ないし請求項2記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子。



但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $48\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。

【請求項9】 スライダに請求項1ないし請求項8記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子が備えられてなることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【請求項10】 フリー磁性層と、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に位置する2つの非磁性導電層と、前記2つの非磁性導電層にそれぞれ隣接する第1、第2固定磁性層と、前記第1、第2固定磁性層に隣接して、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素とMnとを含む合金からなる第1、第2反強磁性層とを基板上に順次積層して積層体を形成し、

前記積層体に第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度で熱処理して、前記第1、2反強磁性層に交換異方性磁界を発生させて前記第1、第2固定磁性層の磁化を同一方向に固定すると共に、前記基板に近い側の前記第2反強磁性層の交換異方性磁界を、前記基板から離れた前記第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大とし、前記第1の磁界に対し反平行である第2の磁界を印加しつつ前記第1の熱処理温度よりも高い第2の熱処理温度で熱処理して、前記第1固定磁性層の磁化方向を前記第2固定磁性層の磁化方向に対し反平行方向に固定することを特徴とするスピナバルブ型薄膜磁気素子の製造方法。

【請求項11】 前記第2の磁界の大きさは、先の熱処理により生じた前記第1反強磁性層の交換異方性磁界より大きく、先の熱処理により生じた前記第2反強磁性層の交換異方性磁界より小さいことを特徴とする請求項10記載のスピナバルブ型薄膜磁気素子の製造方法。

【請求項12】 前記第1の熱処理温度は220℃～250℃の範囲であることを特徴とする請求項10または請求項11記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法。

【請求項13】 前記第2の熱処理温度は250℃～270℃の範囲であることを特徴とする請求項10ないし請求項11記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、フリー磁性層の上下に位置する固定磁性層に反強磁性層が積層されてなるスピンバルブ型薄膜磁気素子及びこのスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッド及びスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】磁気抵抗効果型の磁気ヘッドには、異方性磁気抵抗効果を示す素子を備えたAMR (Anisotropic Magnetoresistive) ヘッドと巨大磁気抵抗効果を示す素子を備えたGMR (Giant Magnetoresistive) ヘッドとがある。AMRヘッドにおいては、磁気抵抗効果を示す素子が磁性体からなる単層構造とされている。一方、GMRヘッドにおいては、磁気抵抗効果を示す素子が複数の材料が積層されてなる多層構造とされている。巨大磁気抵抗効果を生み出す構造にはいくつかの種類があるが、比較的構造が単純で、微弱な外部磁界に対して抵抗変化率が高いものとしてスピンバルブ型薄膜磁気素子がある。スピンバルブ型薄膜磁気素子には、シングルスピンバルブ薄膜磁気素子とデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子とがある。

【0003】図12及び図13は従来のスピンバルブ型薄膜素子を模式的に示した断面図である。このスピンバルブ型薄膜素子の上下には、ギャップ層を介してシールド層が形成されており、前記スピンバルブ型薄膜素子、ギャップ層、及びシールド層で、再生用のGMRヘッドが構成されている。なお前記再生用のGMRヘッドの上に、記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。このGMRヘッドは、インダクティブヘッドと共に浮上式スライダのトレーリング側端部などに設けられて薄膜磁気ヘッドを構成し、ハードディスク等の磁気記録媒体の記録磁界を検出するものである。なお、図12及び図13において、磁気記録媒体の移動方向は図示Z方向であり、磁気記録媒体からの漏れ磁界の方向はY方向である。

【0004】図12に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子3は、フリー磁性層を中心としてその上下に非磁性導電層、固定磁性層及び反強磁性層が1層づつ積層された、いわゆるデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。このデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子は、フリー磁性層/非磁性導電層/固定磁性層の3層の組合せが2組

存在するために、フリー磁性層/非磁性導電層/固定磁性層の3層の組合せが1組であるシングルスピンバルブ薄膜磁気素子と比較して、大きな抵抗変化率が期待でき、高密度記録に対応できるものとなっている。

【0005】図12及び図13に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子3は、図中下から下地層10、第2反強磁性層11、第2固定磁性層12、非磁性導電層13、フリー磁性層14 (符号15、17はCo膜、符号16はNiFe合金膜)、非磁性導電層18、第1固定磁性層19、第1反強磁性層20及び保護層21が順次積層されてなるものである。尚、図13に示すように、下地層10から保護層21間での積層体の両側には、バイアス層130と導電層131が形成されている。

【0006】第1、2固定磁性層19、12は、例えばCo膜、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金などで形成されている。また、第1、2反強磁性層20、11は、PtMn合金、XMn合金 (但し、Xは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素) またはPtMnZ合金 (但し、Zは、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上以上の元素) のいずれかにより形成されている。

【0007】図12に示す第1固定磁性層19及び第2固定磁性層12は、第1、第2反強磁性層20、11との界面にて交換結合による交換異方性磁界 (一方向性交換結合磁界) により磁化されており、これらの磁化方向は、図示Y方向、すなわち記録媒体から離れる方向 (ハイト方向) に固定されている。

【0008】また、フリー磁性層14は、バイアス層130からの磁束によって磁化されて単磁区化され、その磁化方向が図示X方向、すなわち第1、第2固定磁性層19、12の磁化方向と交叉する方向に揃えられている。フリー磁性層14がバイアス層130により単磁区化されることにより、バルクハウゼンノイズの発生が防止される。

【0009】このスピンバルブ型薄膜磁気素子3においては、導電層131からフリー磁性層14、非磁性導電層18、13及び第1、第2固定磁性層19、12に定常電流が与えられ、Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に沿って与えられると、フリー磁性層14の磁化方向がX方向からY方向に向けて変動する。このフリー磁性層14内での磁化方向の変動と第1、2固定磁性層19、12の磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

【0010】また、このスピンバルブ型薄膜磁気素子3は、下地層10から保護層21までの各層を順次積層した後に磁場中アニール (熱処理) を施すことにより、第1、第2固定磁性層19、12と第1、第2反強磁性層

20、11とのそれぞれの界面にて交換異方性磁界を発生させて、第1、第2固定磁性層19、12の磁化方向を同一方向(図示Y方向)に固定することにより製造される。

#### 【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来のスピバルブ型薄膜磁気素子3においては、図14に示すように、記録媒体からの外部磁界が印加されない状態において、フリー磁性層14の磁化方向( $H_3$ )と第1、第2固定磁性層19、12の磁化方向( $H_1$ 、 $H_2$ )とが直交していることが好ましいが、第1、第2固定磁性層19、12から漏れた双極子磁界( $H_4$ 、 $H_5$ )が、図示Y方向の反対方向からフリー磁性層14に侵入し、この双極子磁界( $H_4$ 、 $H_5$ )が、 $H_3$ をY方向の反対方向側に傾けて $H_6$ としてしまうため、フリー磁性層14の磁化方向を描えるためのバイアスの調整が困難となり、フリー磁性層14の磁化方向( $H_3$ ( $H_6$ ))と第1、第2固定磁性層19、12の磁化方向( $H_1$ 、 $H_2$ )を直交させることができなくなつて、再生波形の非対称性、即ちアシンメトリー(Asymmetry)を小さくすることができないという課題があった。

【0012】本発明は、上記の課題を解決するためになされたものであって、フリー磁性層の磁化方向の傾きを防止して、アシンメトリー(Asymmetry)を小さくすることが可能なスピバルブ型薄膜磁気素子及びこのスピバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッド及びこのスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0013】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明は以下の構成を採用した。本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、フリー磁性層と、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に各々非磁性導電層と固定磁性層と反強磁性層とが積層されてなる積層体を基板上に備え、前記フリー磁性層の磁化方向を前記固定磁性層の磁化方向に対して交叉する方向に描えるバイアス層と、前記フリー磁性層に検出電流を与える導電層とを備え、前記一対の固定磁性層のうち、前記基板から離れた側の第1固定磁性層の磁化方向が、隣接する第1反強磁性層により一方向に固定され、前記基板に近い側の第2固定磁性層の磁化方向が、隣接する第2反強磁性層により前記第1固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定され、前記第1、第2反強磁性層は、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなることを特徴とする。

【0014】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子においては、図3に示すように、第1固定磁性層49の磁化方向( $H_{p1}$ )が図示Y方向の反対方向に固定され、第2

固定磁性層42の磁化方向( $H_{p2}$ )が図示Y方向に固定されており、 $H_{p1}$ と $H_{p2}$ が互いに反平行とされてる。また、フリー磁性層44の磁化方向( $H_f$ )がバイアス層からの磁束により図示X方向に描えられている。第1、第2固定磁性層49、42から漏れた双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )の方向は、フリー磁性層44において互いに反平行となり、これら双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )がフリー磁性層44において互いに反発して、フリー磁性層44に侵入することがないので、フリー磁性層44の磁化方向( $H_f$ )は、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向に影響されて傾くことがなく、フリー磁性層44のバイアスの調整が容易になる。尚、第1固定磁性層49から漏れた双極子磁界( $H_{d1}$ )は、第2固定磁性層42に侵入し、第2固定磁性層42から漏れた双極子磁界( $H_{d2}$ )は、第1固定磁性層49に侵入して、第1、第2固定磁性層49、42が互いに磁氣的に結合されるので、外部磁界による影響をほとんど受けることがなく、それぞれの磁化方向が変動することがない。また、第1、第2反強磁性層が、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素とMnとを含む合金からなり、大きな交換異方性磁界を発生させて第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を強固に固定でき、またこの交換異方性磁界の温度特性も良好であるので、磁気抵抗効果の線形応答性に優れたスピバルブ型薄膜磁気素子を提供することが可能になる。

【0015】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子は、先に記載のスピバルブ型薄膜磁気素子であつて、前記フリー磁性層が、非磁性中間層と、前記非磁性中間層を挟む第1フリー磁性層及び第2フリー磁性層とからなり、前記第1フリー磁性層と前記第2フリー磁性層が互いに反強磁性的に結合されて、前記第1フリー磁性層の磁化方向と前記第2フリー磁性層の磁化方向が互いに反平行とされていることを特徴とする。

【0016】前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることが好ましい。

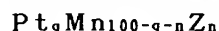


但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ である。また、前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることが好ましい。

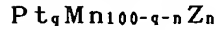


但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $48\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ である。

【0017】また、前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であつても良い。

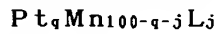


但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。更に、前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。

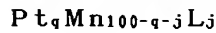


但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $48\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。

【0018】また、前記第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。



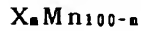
但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。更に、前記第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。



但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $48\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。

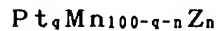
【0019】特に、第1反強磁性層と第2反強磁性層とを構成する合金の組成を同一とする場合には、次の①～③の組み合わせが好ましい。

①即ち、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。



但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 56.5\text{原子}\%$ であることがより好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq m \leq 55.2\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。

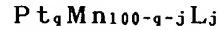
【0020】②また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。



但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すq、nが、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 56.5\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることがより好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq q+n \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることが最も好まし

い。

【0021】③また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。



但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すq、jが、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 56.5\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることが好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq q+j \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。

【0022】また、第1反強磁性層と第2反強磁性層を構成する合金の組成を異ならしめる場合には、次の④～⑥の組み合わせが好ましい。

④即ち、第1反強磁性層が、組成式 $\text{X}_m\text{Mn}_{100-n}$ で表され、Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $\text{X}_m\text{Mn}_{100-n}$ で表され、Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmが、 $48\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 55.2\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0023】⑤また、第1反強磁性層が、組成式 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-n}\text{Z}_n$ で表され、Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nが、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-n}\text{Z}_n$ で表され、Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nが、 $48\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示すq、nが、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0024】⑥また、第1反強磁性層が、組成式 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ で表され、Lが、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jが、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ で表され、Lが、Pd、Ir、Rh、R



u、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jが、 $48\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示すq、jが、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0025】本発明の薄膜磁気ヘッドは、スライダに先に記載のスピンバルブ型薄膜磁気素子が備えられてなることを特徴とする。

【0026】本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法は、フリー磁性層と、前記フリー磁性層の厚さ方向両側に位置する2つの非磁性導電層と、前記2つの非磁性導電層にそれぞれ隣接する第1、第2固定磁性層と、前記第1、第2固定磁性層に隣接して、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素とMnを含む合金からなる第1、第2反強磁性層とを基板上に順次積層して積層体を形成し、前記積層体に第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度で熱処理して、前記第1、2反強磁性層に交換異方性磁界を発生させて前記第1、第2固定磁性層の磁化を同一方向に固定すると共に、前記基板に近い側の前記第2反強磁性層の交換異方性磁界を、前記基板から離れた前記第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大とし、前記第1の磁界に対し反平行である第2の磁界を印加しつつ前記第1の熱処理温度よりも高い第2の熱処理温度で熱処理して、前記第1固定磁性層の磁化方向を前記第2固定磁性層の磁化方向に対し反平行方向に固定することを特徴とする。また、前記第2の磁界の大きさは、先の熱処理により生じた前記第1反強磁性層の交換異方性磁界より大きく、先の熱処理により生じた前記第2反強磁性層の交換異方性磁界より小さいことが好ましい。

【0027】前記第1の熱処理温度は $220^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ の範囲であることが好ましく、 $220^\circ\text{C} \sim 240^\circ\text{C}$ の範囲がより好ましい。また、前記第2の熱処理温度は $250^\circ\text{C} \sim 270^\circ\text{C}$ の範囲であることが好ましい。

【0028】図8には、反強磁性層の熱処理温度と交換異方性磁界との関係を示す。図8から明らかなように、フリー磁性層の下方に配置（または固定磁性層の下方に配置）された反強磁性層（■印）の交換異方性磁界は、 $200^\circ\text{C}$ で既に発現し、 $240^\circ\text{C}$ 付近で $600\text{ Oe}$ を超えており、フリー磁性層の上方に配置（または固定磁性層の上方に配置）された反強磁性層（◆印）の交換異方性磁界は、 $240^\circ\text{C}$ 付近で発現し、約 $260^\circ\text{C}$ 付近においてようやく $600\text{ Oe}$ を超えている。このように、フリー磁性層の下方に配置された反強磁性層は、フリー磁性層の上方に配置された反強磁性層と比較して、比較的低い熱処理温度にて高い交換異方性磁界が得られ

ることがわかる。

【0029】本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子においては、第1固定磁性層及び第1反強磁性層がフリー磁性層の上方に配置され、第2固定磁性層及び第2反強磁性層がフリー磁性層の下方に配置されている。また、フリー磁性層の上方に配置されていた第1固定磁性層は第1反強磁性層の下側に配置され、フリー磁性層の下方に配置されている第2固定磁性層は第2反強磁性層の上方に配置されている。従って、例えば、第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度（ $220^\circ\text{C} \sim 250^\circ\text{C}$ ）で前記の積層体を熱処理すると、第1、第2反強磁性層に交換異方性磁界が生じて第1、第2固定磁性層の磁化方向を同一方向に固定すると共に、フリー磁性層の下方（固定磁性層の下方）に配置された第2反強磁性層の交換異方性磁界が $600\text{ Oe}$ 以上となり、フリー磁性層の上方（固定磁性層の上方）に配置された第1反強磁性層の交換異方性磁界は $200\text{ Oe}$ 以下となり、第2反強磁性層の交換異方性磁界が大きくなる。特に、第1の熱処理温度を $220^\circ\text{C} \sim 240^\circ\text{C}$ とすれば、第1反強磁性層の交換異方性磁界が $100\text{ Oe}$ 以下となり、第1、第2反強磁性層のそれぞれの交換異方性磁界の差が大きくなる。次に、第1の磁界と逆向きの第2の磁界を印加しつつ第2の熱処理温度（ $250^\circ\text{C} \sim 270^\circ\text{C}$ ）で前記の積層体を熱処理すると、第1反強磁性層の交換異方性磁界が $600\text{ Oe}$ 以上となり、かつ第1固定磁性層の磁化方向は第2固定磁性層の磁化方向に対して反平行となる。このとき、第2の磁界を、先の熱処理にて発生した第1反強磁性層の交換異方性磁界より大きくしておけば、第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層に対して反平行とすることが可能になる。また、第2の磁界を先の熱処理にて発生した第2反強磁性層の交換異方性磁界より小さくしておけば、第2反強磁性層に第2の磁界が印加されても、第2反強磁性層の交換異方性磁界が劣化することがなく、第2固定磁性層の磁化方向を固定したままにして、第1、第2固定磁性層の磁化方向を互いに反平行とすることが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】本発明の第1の実施形態を図面を参照して説明する。図1及び図2に、本発明の第1の実施形態であるスピンバルブ型薄膜素子を示し、図4及び図5に、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドを示す。本発明のスピンバルブ型薄膜素子の上下には、ギャップ層を介してシールド層が形成され、スピンバルブ型薄膜素子、ギャップ層、及びシールド層で、再生用のGMRヘッドh1が構成されている。なお前記再生用のGMRヘッドh1に、記録用のインダクティブヘッドh2を積層してもよい。このスピンバルブ型薄膜磁気素子を具備してなるGMRヘッドh1は、図4に示すように、インダクティブヘッドh2と共にスライダ151のトレーリング側端部151dに設けられ



て薄膜磁気ヘッド150を構成し、ハードディスク等の磁気記録媒体の記録磁界を検出することが可能になっている。なお、図1及び図2において、磁気記録媒体の移動方向は図示Z方向であり、磁気記録媒体からの洩れ磁界の方向はY方向である。

【0031】図4に示す薄膜磁気ヘッド150は、スライダ151と、スライダ151の端面151dに備えられたGMRヘッドh1及びインダクティブヘッドh2を主体として構成されている。符号155は、スライダ151の磁気記録媒体の移動方向の上流側であるリーディング側を示し、符号156は、トレーリング側を示す。このスライダ151の媒体対向面152には、レール151a、151a、151bが形成され、各レール同士間は、エアグループ151c、151cとされている。

【0032】図5に示すように、GMRヘッドh1は、スライダ151の端面151d上に形成された磁性合金からなる下部シールド層163と、下部シールド層163に積層された下部ギャップ層164と、媒体対向面152から露出するスピンバルブ型薄膜磁気素子1と、スピンバルブ型薄膜磁気素子1及び下部ギャップ層164を覆う上部ギャップ層166と、上部ギャップ層166を覆う上部シールド層167とから構成されている。上部シールド層167は、インダクティブヘッドh2の下部コア層と兼用とされている。

【0033】インダクティブヘッドh2は、下部コア層（上部シールド層）167と、下部コア層167に積層されたギャップ層174と、コイル176と、コイル176を覆う上部絶縁層177と、ギャップ層174に接合され、かつコイル176側にて下部コア層167に接合される上部コア層178とから構成されている。コイル176は、平面的に螺旋状となるようにパターン化されている。また、コイル176のほぼ中央部分にて上部コア層178の基端部178bが下部コア層167に磁気的に接続されている。また、上部コア層178には、アルミナなどからなる保護層179が積層されている。

【0034】本発明に係るスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、フリー磁性層を中心としてその厚さ方向両側に非磁性導電層、固定磁性層及び反強磁性層が1層ずつ積層された、いわゆるデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子である。このデュアルスピンバルブ型薄膜磁気素子は、フリー磁性層／非磁性導電層／固定磁性層の3層の組合せが2組存在するために、フリー磁性層／非磁性導電層／固定磁性層の3層の組合せが1組であるシングルスピンバルブ薄膜磁気素子と比較して、大きな抵抗変化率が期待でき、高密度記録に対応できるものとなっている。

【0035】図1及び図2に示す本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、図中下から基板30、下地層40、第2反強磁性層41、第2固定磁性層42、非磁性導電層43、フリー磁性層44（符号45、47はCo

膜、符号46はNiFe合金膜）非磁性導電層48、第1固定磁性層49、第1反強磁性層50及び保護層51が順次積層されてなるものである。第1反強磁性層50及び第1固定磁性層49は基板30から離れた側に位置し、第2反強磁性層41及び第2固定磁性層42は基板30に近い側に位置している。尚、図2に示すように、下地層40から保護層51間での積層体の両側には、バイアス層130と導電層131が形成されている。

【0036】第1、2固定磁性層49、42は、例えばCo膜、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金などで形成されている。また、下地層40はTaなどの非磁性体からなり、非磁性導電層43、48はCuなどの非磁性導電膜からなり、保護層51はTaなどの非磁性体からなる。基板30は、図5に示すように、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC系セラミックス等からなるスライダ151の表面に非磁性絶縁膜のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（アルミナ）からなる下地層200が形成され、下地層200の上に下部シールド層163と下部ギャップ層164が順次形成されてなるものである。

【0037】図1に示す第1固定磁性層49及び第2固定磁性層42は、第1、第2反強磁性層50、41に接して形成され、磁場中熱処理を施すことにより、第1固定磁性層49及び第2固定磁性層42と第1、第2反強磁性層50、41との界面にて発生する交換結合による交換異方性磁界により磁化されている。第1固定磁性層49の磁化方向は、図示Y方向の反対方向、すなわち記録媒体に近づく方向に固定され、第2固定磁性層42の磁化方向は、図示Y方向、すなわち記録媒体から離れる方向（ハイト方向）に固定されている。従って、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向は、互いに反平行とされている。

【0038】また、フリー磁性層44は、バイアス層130の磁束によって磁化されて単磁区化され、その磁化方向が図示X方向、すなわち第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向と交叉する方向に描えられている。フリー磁性層44がバイアス層130により単磁区化されることによって、バルクハウゼンノイズの発生が防がれる。

【0039】第1、第2反強磁性層50、41は、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなるものであり、磁場中熱処理により第1、第2固定磁性層49、42との界面にて交換異方性磁界が発現されて、第1、第2固定磁性層49、42をそれぞれ一定の方向に磁化するものである。また、これらの合金からなる第1、第2反強磁性層50、41は、耐食性に極めて優れるという特徴を有している。

【0040】特に第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることが好ましい。

$X_mMn_{100-m}$

但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ である。また、第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であることが好ましい。

$X_mMn_{100-m}$

但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $48\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ である。

【0041】また、第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。

$Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$

但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。更に、第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。

$Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$

但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $48\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。

【0042】また、第1反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。

$Pt_qMn_{100-q-j}L_j$

但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。更に、第2反強磁性層は、下記の組成式からなる合金であっても良い。

$Pt_qMn_{100-q-j}L_j$

但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $48\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。

【0043】特に、第1反強磁性層と第2反強磁性層を構成する合金の組成を同一とする場合には、次の①～③の組み合わせが好ましい。

①即ち、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。

$X_mMn_{100-m}$

但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmは、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 56.5\text{原子}\%$ であることがより好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq m \leq 55.2\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。

【0044】②また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。

$Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$

但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nは、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すq、nが、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 56.5\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることがより好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq q+n \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。

【0045】③また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層を構成する合金の組成比が以下の場合であることが好ましい。

$Pt_qMn_{100-q-j}L_j$

但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、jは、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ である。また、上記の第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すq、jが、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 56.5\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることが好ましく、 $53.8\text{原子}\% \leq q+j \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。

【0046】また、第1反強磁性層と第2反強磁性層を構成する合金の組成を異ならしめる場合には、次の④～⑥の組み合わせが好ましい。

④即ち、第1反強磁性層が、組成式 $X_mMn_{100-m}$ で表され、Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $X_mMn_{100-m}$ で表され、Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素であり、組成比を示すmが、 $48\text{原子}\% \leq m \leq 58\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示すmが、 $52\text{原子}\% \leq m \leq 55.2\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq m \leq 60\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0047】⑤また、第1反強磁性層が、組成式 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ で表され、Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、nが、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ で表され、Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示すq、

$n$ が、 $48\text{原子}\% \leq q+n \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示す $q$ 、 $n$ が、 $52\text{原子}\% \leq q+n \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq q+n \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0048】⑥また、第1反強磁性層が、組成式 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ で表され、 $L$ が、 $Pd$ 、 $Ir$ 、 $Rh$ 、 $Ru$ 、 $Os$ のうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ の合金であると共に、第2反強磁性層が、組成式 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ で表され、 $L$ が、 $Pd$ 、 $Ir$ 、 $Rh$ 、 $Ru$ 、 $Os$ のうちの少なくとも1種または2種以上の元素であり、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $48\text{原子}\% \leq q+j \leq 58\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ の合金であることが好ましい。また、第2反強磁性層の組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $52\text{原子}\% \leq q+j \leq 55.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ または $56.5\text{原子}\% \leq q+j \leq 60\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 40\text{原子}\%$ であることがより好ましい。

【0049】このスピンバルブ型薄膜磁気素子1においては、図3に示すように、第1固定磁性層49の磁化方向( $H_{p1}$ )が図示Y方向の反対方向に固定され、第2固定磁性層42の磁化方向( $H_{p2}$ )が図示Y方向に固定されており、 $H_{p1}$ と $H_{p2}$ が互いに反平行とされている。また、フリー磁性層44の磁化方向( $H_f$ )がバイアス層からの磁束により図示X方向に揃えられている。図3に示すように、第1、第2固定磁性層49、42から漏れた双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )の方向は、フリー磁性層44において互いに反平行となり、これら双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )がフリー磁性層44において互いに反発してフリー磁性層44に侵入することがないので、フリー磁性層44の磁化方向( $H_f$ )は、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向に影響されて傾くことがなく、フリー磁性層44のバイアスの調整が容易になる。尚、第1固定磁性層49から漏れた双極子磁界( $H_{d1}$ )は、第2固定磁性層42に侵入し、第2固定磁性層42から漏れた双極子磁界( $H_{d2}$ )は、第1固定磁性層49に侵入して、第1、第2固定磁性層49、42が互いに磁気的に結合されて熱的に安定するので、外部磁界による影響をほとんど受けることがなく、それぞれの磁化方向が変動することがない。

【0050】このスピンバルブ型薄膜磁気素子1においては、導電層131からフリー磁性層44、非磁性導電層48、43及び第1、第2固定磁性層49、42に定常電流が与えられ、Z方向に走行する磁気記録媒体からの漏れ磁界が図示Y方向に与えられると、フリー磁性層44の磁化方向がX方向からY方向に向けて変動する。このフリー磁性層44内での磁化方向の変動と第1、2

固定磁性層49、42の磁化方向との関係で電気抵抗が変化し、この抵抗変化に基づく電圧変化により磁気記録媒体からの漏れ磁界が検出される。

【0051】次に、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明する。この製造方法は、スピンバルブ型薄膜磁気素子における反強磁性層の位置(または固定磁性層と反強磁性層の相対位置)によって、熱処理により発生する反強磁性層の交換異方性磁界の大きさが相違することを利用してなされたものであり、1度目の熱処理で第2固定磁性層の磁化方向を固定し、2度目の熱処理で第1固定磁性層の磁化方向を固定しようとするものである。

【0052】即ち、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法は、下地層40から保護層51までの各層を基板30上に順次積層して積層体とした後、図6に示すように、図示Y方向から第1の磁界( $H_{a1}$ )を印加しつつ第1の熱処理温度( $T_{a1}$ )で熱処理して、第1、2反強磁性層49、42に交換異方性磁界( $H_{p1}$ 、 $H_{p2}$ )を発生させて第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を図示Y方向に固定すると共に、第2反強磁性層42の交換異方性磁界( $H_{p2}$ )を第1反強磁性層49の交換異方性磁界( $H_{p1}$ )よりも大とする。次に、図7に示すように、図示Y方向の反対方向である第2の磁界( $H_{a2}$ )を印加しつつ第1の熱処理温度( $T_{a1}$ )よりも高い第2の熱処理温度( $T_{a2}$ )で熱処理して、先に発生した第1反強磁性層49の交換異方性磁界( $H_{p1}$ )を $H_{p1}$ とし、更に第1固定磁性層49の磁化方向を図示Y方向の反対方向に固定するというものである。

【0053】ここで、図8に反強磁性層の熱処理温度と交換異方性磁界との関係を示す。図示◆印は、フリー磁性層と保護層の間に反強磁性層を配置(または固定磁性層の上方に反強磁性層を配置)したシングルスピンバルブ薄膜磁気素子を示し、図示■印は、基板とフリー磁性層の間に反強磁性層を配置(または固定磁性層の下方に反強磁性層を配置)したシングルスピンバルブ薄膜磁気素子を示す。従って、◆印のシングルスピンバルブ薄膜磁気素子の反強磁性層は、■印のシングルスピンバルブ薄膜磁気素子の反強磁性層よりも、基板から離れた位置に設けられていることになる。具体的には、◆印で示したスピンバルブ型薄膜磁気素子は、Si基板/ $Al_2O_3$ (1000)/下地層(Ta(50))/フリー磁性層{NiFe合金(70)/Co(10)}/非磁性導電層(Cu(30))/固定磁性層(Co(25))/反強磁性層( $Pt_{55.4}Mn_{44.6}$ (300))/保護層(Ta(50))なる構成のものである。また、■印で示したスピンバルブ型薄膜磁気素子は、Si基板/ $Al_2O_3$ (1000)/下地層(Ta(30))/反強磁性層( $Pt_{54.4}Mn_{45.6}$ (300))/固定磁性層(Co(25))/非磁性導電層(Cu(26))/フリー磁性層{Co(10)/NiFe合金(70)}/保護層

(Ta(50))なる構成のものである。尚、カッコ( )内は各層の厚さを示し、単位はオングストロームである。

【0054】図8に示すように、■印で示す反強磁性層(Pt<sub>55.4</sub>Mn<sub>44.6</sub>)の交換異方性磁界は、220℃を過ぎて上昇しはじめ、240℃を越えると700 Oe程度になって一定となる。また、◆印で示す反強磁性層(Pt<sub>54.4</sub>Mn<sub>45.6</sub>)の交換異方性磁界は、240℃を過ぎて上昇し、260℃を超えると600 Oeを越えて一定となる。このように、基板に近い位置に配置(または固定磁性層の下方に配置)された反強磁性層(■印)は、基板より離れた位置に配置(または固定磁性層の上方に配置)された反強磁性層(◆印)と比較して、比較的低い温度で高い交換異方性磁界が得られることがわかる。

【0055】本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法は、上述した反強磁性層の性質を利用したものである。即ち、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子1においては、第1固定磁性層49及び第1反強磁性層50が基板30から離れた側に配置され、第2固定磁性層42及び第2反強磁性層41が基板30に近い側に配置されている。また、基板30から離れた側に配置された第1固定磁性層49は第1反強磁性層50の下方に配置され、基板30に近い側に配置された第2固定磁性層42は第2反強磁性層41の上方に配置されている。例えば、前記の積層体に、第1の磁界を印加しつつ第1の熱処理温度(220~250℃)で熱処理すると、第1、第2反強磁性層50、41の交換異方性磁界により第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向が第1の磁界の同一方向に固定されると共に、図8に示すように、基板30に近い第2反強磁性層41の交換異方性磁界が600 Oe以上となり、基板30から離れた第1反強磁性層の交換異方性磁界は200 Oe以下のままとなり、第1反強磁性層50よりも第2反強磁性層41の交換異方性磁界が大きくなる。次に、第1の磁界と反平行方向の第2の磁界を印加しつつ第2の熱処理温度(250~270℃)で熱処理すると、図8に示すように、第1反強磁性層50の交換異方性磁界が600 Oe以上となり、かつ第1固定磁性層49の磁化方向が第2固定磁性層42の磁化方向に対して反平行に固定される。

【0056】このとき、第2の磁界を、先の熱処理にて発生した第1反強磁性層50の交換異方性磁界より大きくしておけば、第1固定磁性層49の磁化方向を第2固定磁性層42に対して反平行とすることが可能になる。また、第2の磁界を先の熱処理にて発生した第2反強磁性層41の交換異方性磁界より小さくしておけば、第2反強磁性層41に第2の磁界が印加されても、第2反強磁性層41の交換異方性磁界が劣化することがなく、第2固定磁性層42の磁化方向を固定したままにして、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を互いに反平

行とすることが可能となる。

【0057】第1の熱処理温度は、220℃~250℃の範囲とすることが好ましく、220~240℃の範囲とすることがより好ましい。第1の熱処理温度が220℃未満であると、第2反強磁性層の交換異方性磁界が200 Oe以下となって第2固定磁性層の磁化が高くなり、第2固定磁性層が2度目の熱処理により第1固定磁性層の磁化方向と同一方向に磁化されてしまうので好ましくなく、第1の熱処理温度が250℃を越えると、第1反強磁性層の交換異方性磁界が大きくなって第1固定磁性層の磁化が高くなり、第2の熱処理時に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向に対して反平行に固定できなくなるので好ましくない。また、第1の熱処理温度を230℃~250℃の範囲とすれば、第2反強磁性層の交換異方性磁界を400 Oe以上とすることができ、第2固定磁性層の磁化方向の安定性を大きくすることができるのでより好ましい。

【0058】第2の熱処理温度は、250℃~270℃の範囲とすることが好ましい。第2の熱処理温度が250℃未満であると、第1反強磁性層の交換異方性磁界を400 Oe以上にすることができなくなると、第1固定磁性層の磁化を大きくすることができなくなるので好ましくない。また、第1の熱処理にて固定した第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向に対して反平行に固定できなくなるので好ましくない。また、第2の熱処理温度が270℃を越えても、もはや第1反強磁性層の交換異方性磁界は一定となって増大しないので、熱処理温度の上昇による効果がみられないので好ましくない。また、270℃を越えた場合には、その他の各々の層間における相互拡散を引き起こし、磁気抵抗効果の低下を招くので好ましくない。

【0059】また、図9には、熱処理温度と反強磁性層の組成と交換異方性磁界との関係を示す。図示△印及び▲印は、フリー磁性層よりも基板から離れた位置に反強磁性層を配置(または固定磁性層の上方に反強磁性層を配置)したシングルスピンバルブ薄膜磁気素子を示すものであって、△印は270℃、▲印は245℃で熱処理したものであり、図示●印は、基板とフリー磁性層の間に反強磁性層を配置(または固定磁性層の下方に反強磁性層を配置)したシングルスピンバルブ薄膜磁気素子を示すものであって、●印は245℃で熱処理したものである。具体的には、△印及び▲印で示したスピンバルブ型薄膜磁気素子は、Si基板/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1000)/下地層(Ta(50))/フリー磁性層(NiFe合金(70)/Co(10))/非磁性導電層(Cu(30))/固定磁性層(Co(25))/反強磁性層(Pt<sub>55</sub>Mn<sub>45</sub>(300))/保護層(Ta(50))なる構成のものであり、●印で示したスピンバルブ型薄膜磁気素子は、Si基板/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1000)/下地層(Ta(30))/反強磁性層(Pt<sub>55</sub>Mn<sub>45</sub>(300))/

固定磁性層(Co(25))/非磁性導電層(Cu(26))/フリー磁性層{Co(10)/NiFe合金(70)}/保護層(Ta(50))なる構成のものである。尚、カッコ( )内は各層の厚さを示し、単位はオングストロームである。

【0060】図9から明らかなように、第1反強磁性層を $X_mMn_{100-m}$ (但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素)からなる合金としたときは、組成比を示すmが、52原子% $\leq m \leq 60$ 原子%であることが好ましい。mが52原子%未満または60原子%以上を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界(交換異方性磁界)を示さなくなるので好ましくない。

【0061】また、図9から明らかなように、第2反強磁性層を $X_mMn_{100-m}$ (但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素)からなる合金としたときは、組成比を示すmが、48原子% $\leq m \leq 58$ 原子%であることが好ましい。mが48原子%未満または58原子%以上を越えると、熱処理温度245℃の第2の熱処理を行っても、 $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。

【0062】また、第1反強磁性層を $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ (但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素)としたとき、組成比を示すq、nが、52原子% $\leq q+n \leq 60$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であることが好ましい。q+nが52原子%未満または60原子%を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、nが0.2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、nが10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0063】また、第2反強磁性層を $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ (但し、Zは、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素)としたとき、組成比を示すq、nが、48原子% $\leq q+n \leq 58$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であることが好ましい。q+nが48原子%未満または58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性

特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、nが0.2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、nが10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0064】更に、第1反強磁性層を $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ (但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素)としたとき、組成比を示すq、jが、52原子% $\leq q+j \leq 60$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%であることが好ましい。q+jが52原子%未満または60原子%を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、jが0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、jが40原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0065】更に、第2反強磁性層を $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ (但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素)としたとき、組成比を示すq、jが、48原子% $\leq q+j \leq 58$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%であることが好ましい。q+jが48原子%未満または58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、jが0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、jが40原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0066】また、図9から明らかなように、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $X_mMn_{100-m}$ (但し、Xは、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素)からなる合金としたとき、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示すmが、52原子% $\leq m \leq 58$ 原子%であることが好ましい。mが52原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層を構成する $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、mが58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても第2反強磁性層を構成する $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにく



21

くなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。

【0067】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $X_nMn_{100-n}$ からなる合金としたとき、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示す $m$ が、52原子% $\leq m \leq 56.5$ 原子%であることがより好ましい。 $m$ が52原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層を構成する $X_nMn_{100-n}$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $m$ が56.5原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。

【0068】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $X_nMn_{100-n}$ からなる合金としたとき、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の組成比を示す $m$ が、53.8原子% $\leq m \leq 55.2$ 原子%であることが最も好ましい。 $m$ が53.8原子%未満であると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなると共にその差が大きくなり、270℃で第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層の交換異方性磁界が第2反強磁性層の交換異方性磁界よりも小さいままで、第1反強磁性層と第2反強磁性層の交換異方性磁界の大きさが等しくならなくなるので好ましくない。また、 $m$ が55.2原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。従って、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の上記組成比が53.8原子% $\leq m \leq 55.2$ 原子%であれば、第1の熱処理時に第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりもより大きくなり、第2の熱処理によって第1反強磁性層と第2反強磁性層の交換異方性磁界の差が小さくなるので、第1、第2反強磁性層の交換異方性磁界の大きさをほぼ等しくできするため好ましい。

【0069】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$  (但し、 $Z$ は、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも

22

1種または2種以上の元素)からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $n$ が、52原子% $\leq q+n \leq 58$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であることが好ましい。 $q+n$ が52原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $q+n$ が58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても、第2反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $n$ が0.2原子%未満であると、元素 $Z$ の添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $n$ が10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0070】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $n$ が、52原子% $\leq q+n \leq 56.5$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であることがより好ましい。 $q+n$ が52原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $q+n$ が56.5原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、 $n$ が0.2原子%未満であると、元素 $Z$ の添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $n$ が10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0071】更に、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $n$ が、53.8原子% $\leq q+n \leq 55.2$ 原子%、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であることが最も好ましい。 $q+n$ が53.8原子%未満であると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなると共にその差が大きくなり、続いて270℃で第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層の交換異方性磁界が第2反強磁性層の交換異方性磁界よりも小さいままで、第1反強磁性層と第2反強磁性

層の交換異方性磁界の大きさが等しくならなくなるので好ましくない。また、 $q+n$ が5.2原子%を超えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、 $n$ が0.2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $n$ が10原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。従って、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の上記組成比が $5.3.8\text{原子}\% \leq q+n \leq 5.5.2\text{原子}\%$ であり、 $0.2\text{原子}\% \leq n \leq 10\text{原子}\%$ であれば、第1の熱処理時に第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換結合磁界よりもより大きくなり、第2の熱処理によって第1反強磁性層と第2反強磁性層の交換異方性磁界の差が小さくなるので、第1、第2反強磁性層の交換異方性磁界の大きさをほぼ等しく

【0072】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ （但し、Lは、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素）からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $5.2\text{原子}\% \leq q+j \leq 5.8\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 4.0\text{原子}\%$ であることが好ましい。 $q+j$ が5.2原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ の結晶格子が $\text{L}1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $q+j$ が5.8原子%を超えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても、第2反強磁性層を構成する $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ の結晶格子が $\text{L}1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が4.0原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0073】また、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $5.2\text{原子}\% \leq q+j \leq 5.6.5\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 4.0\text{原子}\%$ であることがより好ましい。 $q+j$ が5.2原子%未満であると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、 $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ の結晶格子が $\text{L}1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交

換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、 $q+j$ が5.6.5原子%を超えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、 $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が4.0原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0074】更に、第1反強磁性層及び第2反強磁性層が $\text{Pt}_q\text{Mn}_{100-q-j}\text{L}_j$ からなる合金としたとき、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、 $5.3.8\text{原子}\% \leq q+j \leq 5.5.2\text{原子}\%$ 、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 4.0\text{原子}\%$ であることが最も好ましい。 $q+j$ が5.3.8原子%未満であると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなり、続いて270℃で第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層の交換異方性磁界が第2反強磁性層の交換異方性磁界よりも小さいままで、第1反強磁性層と第2反強磁性層の交換異方性磁界の大きさが等しくならなくなるので好ましくない。また、 $q+j$ が5.5.2原子%を超えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりも大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、 $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が4.0原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。従って、第1反強磁性層及び第2反強磁性層の上記組成比が $5.3.8\text{原子}\% \leq q+j \leq 5.5.2\text{原子}\%$ であり、 $0.2\text{原子}\% \leq j \leq 4.0\text{原子}\%$ であれば、第1の熱処理時に第2反強磁性層の交換異方性磁界が第1反強磁性層の交換異方性磁界よりもより大きくなり、第2の熱処理によって第1反強磁性層と第2反強磁性層の交換異方性磁界の差が小さくなるので、第1、第2反強磁性層の交換異方性磁界の大きさをほぼ等しく

【0075】また、第1反強磁性層の組成と第2反強磁性層の組成を異ならしめ、例えば第1反強磁性層のMn濃度を第2反強磁性層のMn濃度よりも多くすることにより、第1の熱処理後の両者の交換異方性磁界の差をよ



り顕著にでき、第2の熱処理後に第1、第2固定磁性層の磁化をより確実に反平行状態とすることが可能となる。

【0076】即ち、第1反強磁性層を、 $X_mMn_{100-m}$  (Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素、組成比を示すmが52原子% $\leq m \leq 60$ 原子%) からなる合金とし、第2反強磁性層を、 $X_mMn_{100-m}$  (Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素、組成比を示すmが、48原子% $\leq m \leq 58$ 原子%) からなる合金とすることが好ましい。第1反強磁性層の組成を示すmが52原子%未満若しくは60原子%を越えると、図9に示すように、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層を構成する $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示すmが48原子%未満若しくは58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても第2反強磁性層を構成する $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。

【0077】またこのとき、第2反強磁性層を、 $X_mMn_{100-m}$  (Xが、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種以上の元素、組成比を示すmが52原子% $\leq m \leq 55$ 、2原子%または56、5原子% $\leq m \leq 60$ 原子%) からなる合金としとすることがより好ましい。第2反強磁性層の組成を示すmが52原子%未満若しくは60原子%を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても第2反強磁性層を構成する $X_mMn_{100-m}$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示すmが55、2原子%を越えて56、5原子%未満であると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。よって、第2反強磁性層の組成を示すmの範囲が52原子% $\leq m \leq 55$ 、2原子%または56、5原子% $\leq m \leq 60$ 原子%であると、第1の熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を第1反強磁性層の交換異方性磁界よりもより大きくでき、第2に熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を劣化させることがなく、第2固定磁性層の磁化方向を強固に固定したまま、第

1、第2固定磁性層の磁化方向を互いに反平行にすることができる。

【0078】第1反強磁性層と第2反強磁性層の好ましい別の組み合わせは、第1反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$  (Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示すq、nが、52原子% $\leq q+n \leq 60$ 原子%、0、2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%) からなる合金とし、第2反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$  (Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示すq、nが、48原子% $\leq q+n \leq 58$ 原子%、0、2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%) からなる合金とすることが好ましい。第1反強磁性層の組成を示すq+nが52原子%未満若しくは60原子%を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第1反強磁性層の組成を示すnが0、2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、nが10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示すq+nが48原子%未満若しくは58原子%を越えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても、第2反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示すnが0、2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、nが10原子%を越えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0079】またこのとき、第2反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$  (Zが、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示すq、nが、52原子% $\leq q+n \leq 55$ 、2原子%、0、2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%または56、5原子% $\leq q+n \leq 60$ 原子%、0、2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%) からなる合金とすることが好ましい。第2反強磁性層の組成を示すq+nが52原子%未満若しくは60原子%を越えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても第2反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-n}Z_n$ の結晶格子がL1<sub>0</sub>型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示すq+nが55、2原子%を越えて56、5原子%未満であると、熱

処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示す $n$ が0.2原子%未満であると、元素Zの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $n$ が10原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。よって、第2反強磁性層の組成を示す $q$ 、 $n$ が52原子% $\leq m \leq 55.2$ 原子%または56.5原子% $\leq m \leq 60$ 原子%であり、0.2原子% $\leq n \leq 10$ 原子%であると、第1の熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を第1反強磁性層の交換異方性磁界よりもより大きくでき、第2に熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を劣化させることがなく、第2固定磁性層の磁化方向を強固に固定したまま、第1、第2固定磁性層の磁化方向を互いに反平行にすることができる。

【0080】第1反強磁性層と第2反強磁性層の好ましい他の組み合わせは、第1反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$  ( $L$ が、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、52原子% $\leq q+j \leq 60$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%) からなる合金とし、第2反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$  ( $L$ が、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、48原子% $\leq q+j \leq 58$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%) からなる合金とすることが好ましい。第1反強磁性層の組成を示す $q+j$ が52原子%未満若しくは60原子%を超えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても、第1反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第1反強磁性層の組成を示す $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が40原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示す $q+j$ が48原子%未満若しくは58原子%を超えると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行っても、第2反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示す $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一

方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が40原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。

【0081】またこのとき、第2反強磁性層を、 $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$  ( $L$ が、Pd、Ir、Rh、Ru、Osのうちの少なくとも1種または2種以上の元素、組成比を示す $q$ 、 $j$ が、52原子% $\leq q+j \leq 55.2$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%または56.5原子% $\leq q+j \leq 60$ 原子%、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%) からなる合金とすることが好ましい。第2反強磁性層の組成を示す $q+j$ が52原子%未満若しくは60原子%を超えると、熱処理温度270℃の第2の熱処理を行っても第2反強磁性層を構成する $Pt_qMn_{100-q-j}L_j$ の結晶格子が $L1_0$ 型の規則格子へと規則化しにくくなり、反強磁性特性を示さなくなる。即ち、一方向性交換結合磁界を示さなくなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示す $q+j$ が55.2原子%を超えて56.5原子%未満であると、熱処理温度245℃の第1の熱処理を行った場合に、第2反強磁性層による交換異方性磁界が第1反強磁性層による交換異方性磁界大きくなるがその差は小さく、熱処理温度270℃の第2の熱処理の際に、第2固定磁性層が第1固定磁性層の磁化と同一の方向に磁化されたり、第2の熱処理の際に第1固定磁性層の磁化方向を第2固定磁性層の磁化方向の反平行方向に固定でき難くなるので好ましくない。また、第2反強磁性層の組成を示す $j$ が0.2原子%未満であると、元素Lの添加による一方向性交換結合磁界の改善効果が十分に現れないので好ましくなく、 $j$ が40原子%を超えると、一方向性交換結合磁界が低下してしまうので好ましくない。よって、第2反強磁性層の組成を示す $q$ 、 $j$ が52原子% $\leq m \leq 55.2$ 原子%または56.5原子% $\leq m \leq 60$ 原子%であり、0.2原子% $\leq j \leq 40$ 原子%であると、第1の熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を第1反強磁性層の交換異方性磁界よりもより大きくでき、第2に熱処理の際に第2反強磁性層の交換異方性磁界を劣化させることがなく、第2固定磁性層の磁化方向を強固に固定したまま、第1、第2固定磁性層の磁化方向を互いに反平行にすることができる。

【0082】上述のスピンバルブ型薄膜磁気素子1は、第1、第2固定磁性層49、42から漏れた双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )の方向がフリー磁性層44において互いに反平行となるので、これら双極子磁界( $H_{d1}$ 、 $H_{d2}$ )がフリー磁性層44において互いに反発し、フリー磁性層44に侵入することがなく、従って、フリー磁性層44の磁化方向( $H_f$ )は、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向に影響されて傾くことがなく、フリー磁性層44のバイアスの調整を容易に行うことができ、フリー磁性層44の磁化方向と第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を直交させることが容易になり、ス

ピンバルブ型薄膜磁気素子のアシンメトリー (Asymmetry) を小さくすることができる。

【0083】また、第1固定磁性層49から漏れた双極子磁界 ( $H_{d1}$ ) が第2固定磁性層42に侵入し、第2固定磁性層42から漏れた双極子磁界 ( $H_{d2}$ ) が第1固定磁性層49に侵入して、第1、第2固定磁性層49、42が互いに磁氣的に結合されるので、外部磁界による影響をほとんど受けることがなく、それぞれの磁化方向が変動することがなく、スピンバルブ型薄膜磁気素子の熱的な安定性を高めることができる。

【0084】更に、第1、第2反強磁性層が、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素とMnとを含む合金からなり、大きな交換異方性磁界を発生させて第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を強固に固定でき、またこの交換異方性磁界の温度特性も良好であるので、磁気抵抗効果の線形応答性に優れたスピンバルブ型薄膜磁気素子を提供することができる。

【0085】上述のスピンバルブ型薄膜磁気素子の製造方法は、1度目の熱処理で第2固定磁性層42の磁化方向を固定し、2度目の熱処理で第1固定磁性層49の磁化方向を固定するので、第1、第2固定磁性層49、42のそれぞれの磁化方向を任意の方向に固定でき、特に第1の磁界と第2の磁界の方向を互いに反平行とすることにより、第1、第2固定磁性層の磁化方向を互いに反平行方向とすることができる。

【0086】次に、本発明の第2の実施形態を図面を参照して説明する。図10及び図11には、本発明の第2の実施形態であるスピンバルブ型薄膜素子2を示す。尚、これらの図において前述した図1及び図2記載の構成要素と同一の構成要素には同一符号を付してその説明を省略する。

【0087】このスピンバルブ型薄膜素子2は、フリー磁性層を中心にしてその上下に非磁性導電層、固定磁性層、及び反強磁性層が積層されたデュアルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記フリー磁性層が、非磁性中間層を介して2層に分断されて形成されてなるものである。

【0088】図10及び図11に示すスピンバルブ型薄膜磁気素子2は、下から基板30、下地層40、第2反強磁性層41、第2固定磁性層42、非磁性導電層43、フリー磁性層64 (符号65は第2フリー磁性層、符号66は非磁性中間層、符号67は第1フリー磁性層)、非磁性導電層48、第1固定磁性層49、第1反強磁性層50及び保護層51が順次積層されてなるものである。尚、図11に示すように、下地層40から保護層51間での積層体の両側には、バイアス層130と導電層131が形成されている。また、第1フリー磁性層67と第2フリー磁性層65の厚さは異なって形成されている。

【0089】第1、2固定磁性層49、42は、例えばCo膜、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金などで形成されている。また、下地層40はTaなどの非磁性体からなり、非磁性導電層43、48はCuなどの非磁性導電膜からなり、保護層51はTaなどの非磁性体からなる。また、第1フリー磁性層67と第2フリー磁性層65間に挟まれている非磁性中間層66は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。

10 【0090】第1、第2反強磁性層50、41は、前述と同様に、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素と、Mnとを含む合金からなるものであり、磁場中熱処理により第1、第2固定磁性層49、42との界面にて交換異方性磁界が発現されて、第1、第2固定磁性層49、42をそれぞれ一定の方向に磁化するものである。

【0091】また、図10に示すように、第1フリー磁性層67及び第2フリー磁性層65はそれぞれ2層で形成されている。非磁性導電層43、48に接する側に形成された第1フリー磁性層67の層71及び第2フリー磁性層65の層68はCo膜で形成されている。また、非磁性中間層66を挟んで形成されている第1フリー磁性層67の層70及び第2フリー磁性層65の層69は、例えば、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。非磁性導電層43、48に接する層68、71をCo膜で形成することにより、抵抗変化率を大きくでき、しかも非磁性導電層43、48との拡散を防止することができる。

30 【0092】図10に示す第1固定磁性層49及び第2固定磁性層42は、第1、第2反強磁性層50、41に接して形成され、磁場中熱処理を施すことにより、第1固定磁性層49及び第2固定磁性層42と第1、第2反強磁性層50、41との界面にて発生する交換結合による交換異方性磁界により磁化されている。第1固定磁性層49の磁化方向は、図示Y方向の反対方向、すなわち記録媒体に近づく方向に固定され、第2固定磁性層42の磁化方向は、図示Y方向、すなわち記録媒体から離れる方向 (ハイト方向) に固定されている。従って、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向は、互いに反平行とされている。

50 【0093】また、フリー磁性層64においては、第1フリー磁性層67の磁化方向がバイアス層130の磁束によって図示X方向に固定され、第2フリー磁性層65の磁化方向が図示X方向の反対方向に固定されている。第2フリー磁性層65は、交換異方性磁界 (RKKY相互作用) によって第1フリー磁性層67と磁氣的に結合されて、図示X方向の反対方向に磁化された状態となっている。第1フリー磁性層67及び第2フリー磁性層65の磁化は、フェリ状態を保ちながら、外部磁界の影響

を受けて反転自在とされてる。第1フリー磁性層67の厚さが第2フリー磁性層65の厚さよりも大とされているので、磁化の大きさと層の厚さの積で表される磁気モーメントは、第1フリー磁性層の方が大きくなっている。従って、フリー磁性層64全体としては、第1フリー磁性層67及び第2フリー磁性層65の各磁気モーメントの合成モーメントの方向、即ち図示X方向に磁化が揃えられた状態にある。

【0094】図10、11に示すスピンバルブ型薄膜素子2にあっては、第1フリー磁性層67の磁化及び第2フリー磁性層65の磁化は共に抵抗変化率に関与する層となっており、第1フリー磁性層67及び第2フリー磁性層65の変動磁化と、第1、第2固定磁性層49、42の固定磁化との関係で電気抵抗が変化する。シングルスピンバルブ型薄膜素子に比べ大きい抵抗変化率を期待できるデュアルスピンバルブ型薄膜素子としての機能を発揮させるには、第1フリー磁性層67と第1固定磁性層49との抵抗変化及び、第2フリー磁性層65と第2固定磁性層42との抵抗変化が、共に同じ変動を見せるように、第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を制御する必要がある。すなわち、第1フリー磁性層67と第1固定磁性層49との抵抗変化が最大になると、第2フリー磁性層65と第2固定磁性層42との抵抗変化も最大になるようにし、第1フリー磁性層67と第1固定磁性層49との抵抗変化が最小になると、第2フリー磁性層65と第2固定磁性層42との抵抗変化も最小になるようにすればよいのである。

【0095】図10、11に示すスピンバルブ型薄膜素子2においては、第1フリー磁性層67と第2フリー磁性層65の磁化が反平行に揃えられており、第1固定磁性層49の磁化と第2固定磁性層42の磁化とが互いに反対方向に固定されているので、大きな抵抗変化率を得ることが可能になる。

【0096】上述のスピンバルブ型薄膜磁気素子2は、前述のスピンバルブ型薄膜磁気素子1とほぼ同様な製造方法により製造することができる。即ち、図10及び図11に示すような下地層40から保護層51を順次積層した後、図6に示すように、図示Y方向から第1の磁界( $H_{a1}$ )を印加しつつ第1の熱処理温度( $T_{a1}$ )で熱処理して、第1、2反強磁性層49、42に交換異方性磁界( $H_{p1}$ 、 $H_{p2}$ )を発生させて第1、第2固定磁性層49、42の磁化方向を図示Y方向に固定すると共に、第2反強磁性層42の交換異方性磁界( $H_{p2}$ )を第1反強磁性層49の交換異方性磁界( $H_{p1}$ )よりも大とする。次に、図7に示すように、図示Y方向の反対方向である第2の磁界( $H_{a2}$ )を印加しつつ第1の熱処理温度( $T_{a1}$ )よりも高い第2の熱処理温度( $T_{a2}$ )で熱処理して、先に発生した第1反強磁性層49の交換異方性磁界( $H_{p1}$ )を $H_{p1}$ とし、更に第1固定磁性層49の磁化方向を図示Y方向の反対方向に固定するというもので

ある。

【0097】このスピンバルブ型薄膜磁気素子2は、前述のスピンバルブ型薄膜磁気素子1の効果に加えて、以下の効果を有する。即ち上記のスピンバルブ型薄膜素子2は、フリー磁性層64が非磁性中間層66を挟んで形成された第1フリー磁性層67及び第2フリー磁性層65からなり、第1、第2フリー磁性層67、65の間に発生する交換異方性磁界(RKKY相互作用)によって第1、第2フリー磁性層67、65の磁化を反平行状態(フェリ状態)とされており、第1フリー磁性層67と第2フリー磁性層65の磁化が、外部磁界に対して感度良く反転可能とされているので、大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0098】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明のスピンバルブ型薄膜磁気素子は、第1、第2固定磁性層の磁化方向が互いに反平行とされているので、第1、第2固定磁性層からそれぞれ漏れた双極子磁界の方向がフリー磁性層において互いに反平行となり、これら双極子磁界がフリー磁性層において互いに反発し、フリー磁性層に侵入することがなく、従って、フリー磁性層の磁化方向( $H_f$ )は、第1、第2固定磁性層の磁化方向に影響されて傾くことがなく、フリー磁性層のバイアスの調整を容易に行うことができ、フリー磁性層の磁化方向と第1、第2固定磁性層の磁化方向を直交させることが容易になり、スピンバルブ型薄膜磁気素子のアシンメトリー(Asymmetry)を小さくすることができる。

【0099】また、第1固定磁性層から漏れた双極子磁界が第2固定磁性層に侵入し、第2固定磁性層から漏れた双極子磁界が第1固定磁性層に侵入して、第1、第2固定磁性層が互いに磁氣的に結合されるので、外部磁界による影響をほとんど受けることがなく、それぞれの磁化方向が変動することがなく、スピンバルブ型薄膜磁気素子の熱的な安定性を高めることができる。

【0100】更に、第1、第2反強磁性層が、Pt、Pd、Ir、Rh、Ru、Os、Au、Ag、Cr、Ni、Ne、Ar、Xe、Krのうちの少なくとも1種または2種以上の元素とMnとを含む合金からなり、大きな交換異方性磁界を発生させて第1、第2固定磁性層の磁化方向を強固に固定でき、またこの交換異方性磁界の温度特性も良好であるので、優れた磁気抵抗効果の線形応答性を得ることができる。

【0101】また本発明のスピンバルブ型薄膜素子は、第1、第2フリー磁性層の間に発生する交換異方性磁界(RKKY相互作用)によって第1、第2フリー磁性層の磁化を反平行状態(フェリ状態)とされたフリー磁性層を具備してなり、第1フリー磁性層と第2フリー磁性層の磁化を、外部磁界に対して感度良く反転可能とすることができるので、大きな抵抗変化率を得ることができる。

【0102】本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法は、1度目の熱処理で第2固定磁性層の磁化方向を固定し、2度目の熱処理で第1固定磁性層の磁化方向を固定するので、第1、第2固定磁性層の磁化方向が互いの反平行方向とすることが可能になり、アシンメトリ（Asymmetry）が小さいスピバルブ型薄膜磁気素子を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を示す断面図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を他の方向からみた断面図である。

【図3】 本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子の固定磁性層とフリー磁性層の磁化方向を説明するための模式図である。

【図4】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドを示す斜視図である。

【図5】 本発明の第1の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を備えた薄膜磁気ヘッドの要部を示す断面図である。

【図6】 本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための模式図である。

【図7】 本発明のスピバルブ型薄膜磁気素子の製造方法を説明するための模式図である。

【図8】  $Pt_{55.4}Mn_{44.6}$ 合金及び $Pt_{54.4}Mn_{45.6}$ 合金の交換異方性磁界の熱処理温度依存性を示すグラフ

である。

【図9】  $Pt_{55.4}Mn_{44.6}$ 合金の交換異方性磁界のPt濃度（m）依存性を示すグラフである。

【図10】 本発明の第2の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を示す断面図である。

【図11】 本発明の第2の実施形態であるスピバルブ型薄膜磁気素子を他の方向からみた断面図である。

【図12】 従来のスピバルブ型薄膜磁気素子を示す断面図である。

10 【図13】 従来のスピバルブ型薄膜磁気素子を他の方向からみた断面図である。

【図14】 従来のスピバルブ型薄膜磁気素子の固定磁性層とフリー磁性層の磁化方向を説明するための模式図である。

【符号の説明】

1、2 スピバルブ型薄膜磁気素子

41 第2反強磁性層

42 第2固定磁性層

43 非磁性導電層

20 44、64 フリー磁性層

48 非磁性導電層

49 第1固定磁性層

50 第1反強磁性層

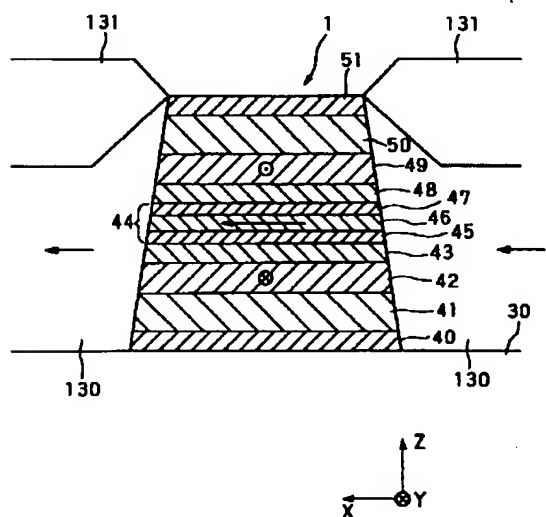
65 第1フリー磁性層

66 非磁性中間層

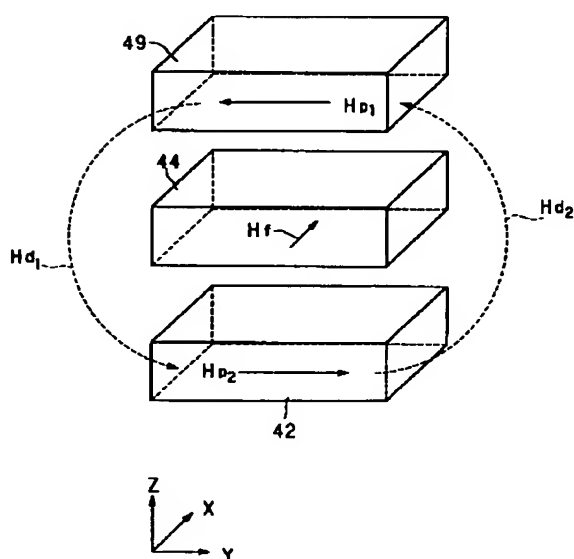
67 第2フリー磁性層

150 薄膜磁気ヘッド

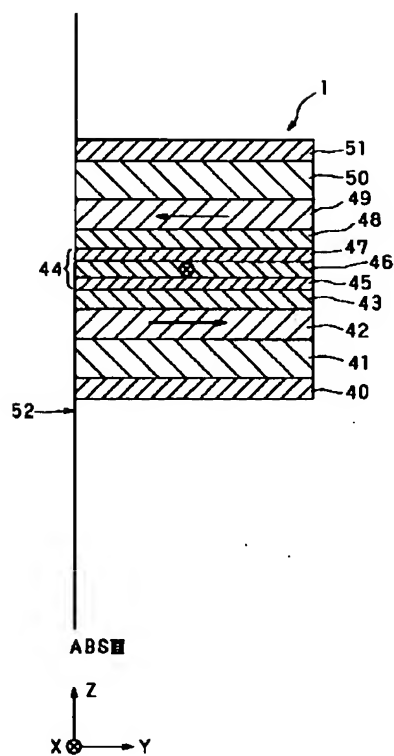
【図2】



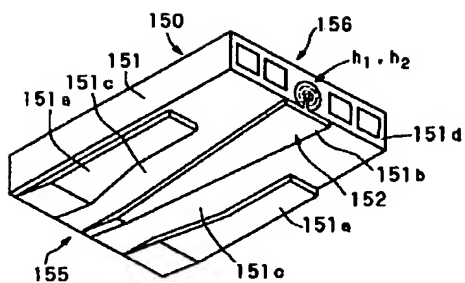
【図3】



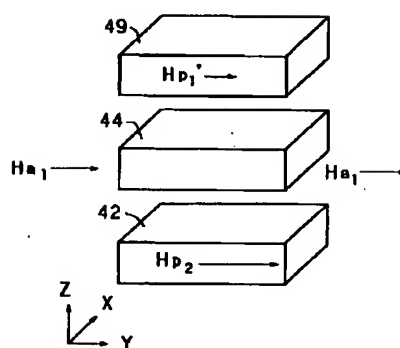
【図1】



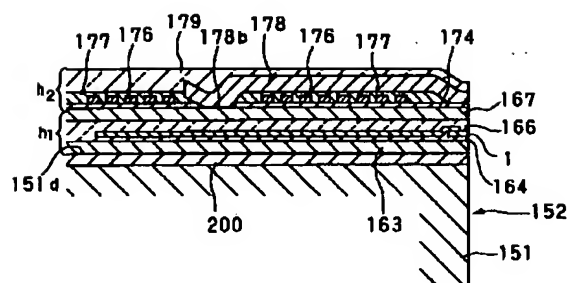
【図4】



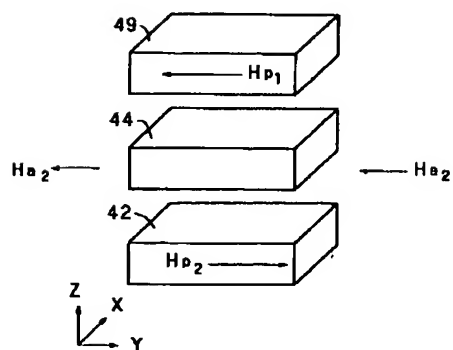
【図6】



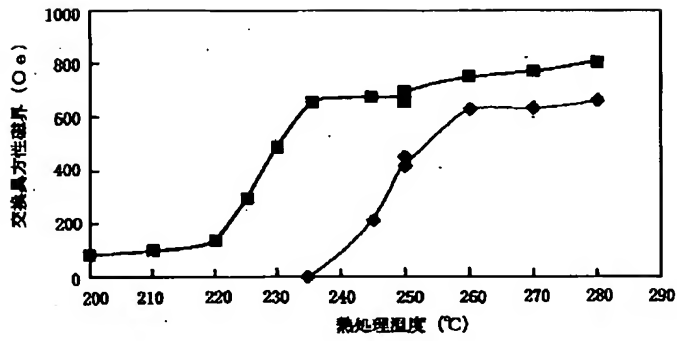
【図5】



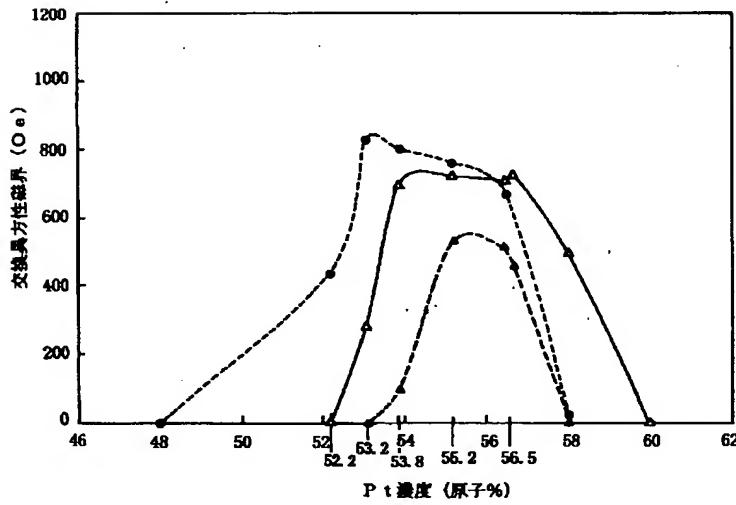
【図7】



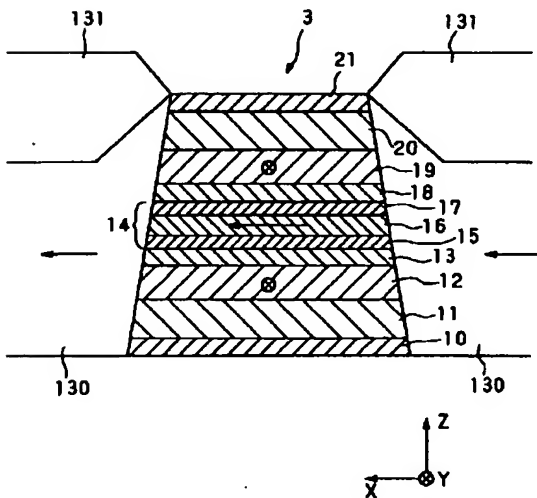
【図8】



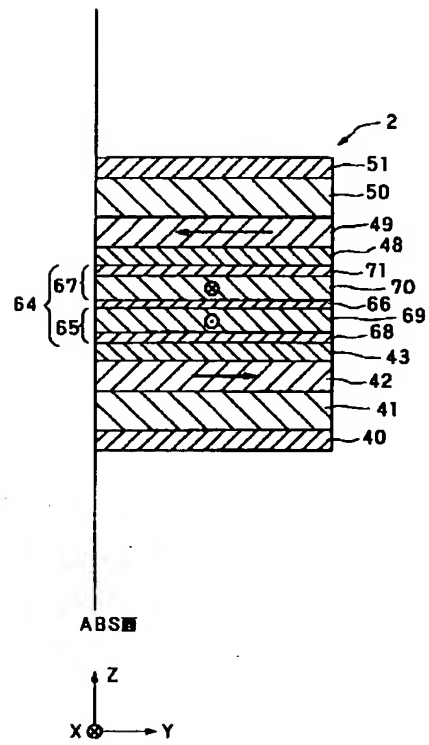
【図9】



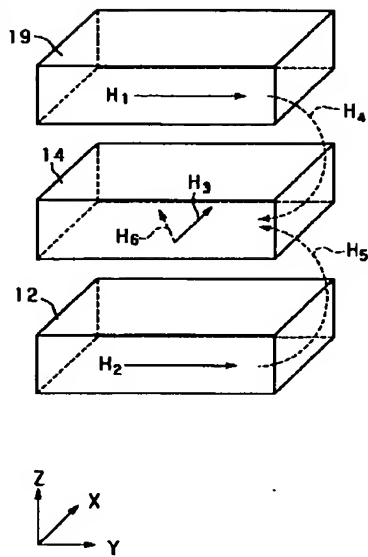
【図13】



【図10】

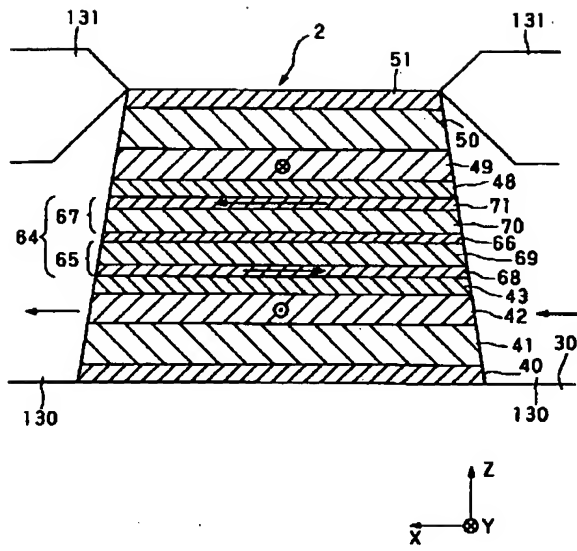


【図14】





【図11】



【図12】

